

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**TESIS**

**HÍPERHEURÍSTICO BASADO EN BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA  
PARA LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE CARTERA DE  
PROYECTOS**

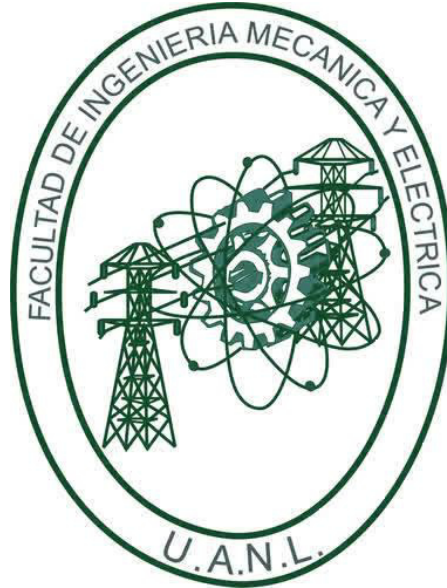
**POR**

**FERNANDO GALVÁN RODRÍGUEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**NOVIEMBRE, 2017**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**TESIS**

**HÍPERHEURÍSTICO BASADO EN BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA  
PARA LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE CARTERA DE  
PROYECTOS**

**POR**

**LIC. FERNANDO GALVÁN RODRÍGUEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO    NOVIEMBRE, 2017**

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Subdirección de Estudios de Posgrado

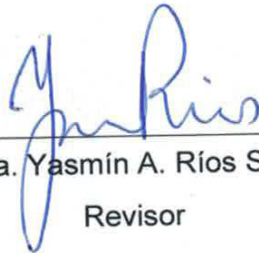
Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis Hiperheurístico basado en Búsqueda Local Iterativa para la solución de un problema de cartera de proyectos"), realizada por el alumno Lic. Fernando Galván Rodríguez, con número de matrícula 149292, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas.

El Comité de Tesis



Dr. Fernando López

Asesor



Dra. Yasmín A. Ríos Solís

Revisor



Dr. Igor Litvinchev Semionovich

Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirección de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, Noviembre 2017

*A Dios, mi Esposa, mis hijas,  
mis Padres, familia y amigos.*

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	3
1.2. Estructura de la tesis . . . . .	3
1.3. Justificación . . . . .	4
1.4. Hipótesis . . . . .	4
1.5. Contribución Esperada . . . . .	5
1.6. Alcances y Limitaciones . . . . .	5
1.7. Conclusiones . . . . .	5
<b>2. Marco Conceptual</b>	<b>6</b>
2.1. Introducción . . . . .	6
2.2. Problema de Optimización . . . . .	6
2.3. Solución de Problema . . . . .	8

---

2.4. Modelo Matemático . . . . .	9
2.5. Heurísticas . . . . .	11
2.6. Búsqueda Local . . . . .	12
2.7. Metaheurísticos . . . . .	15
2.8. Búsqueda Local Iterativa . . . . .	17
2.9. Optimización multiobjetivo . . . . .	18
2.10. Frente de Pareto . . . . .	19
2.11. Híperheurístico . . . . .	20
2.12. Descripción del problema . . . . .	22
<b>3. Propuesta de Solución</b>	<b>31</b>
3.1. HíperHeurístico . . . . .	34
<b>4. Resultados y Experimentación</b>	<b>38</b>
<b>5. Conclusiones</b>	<b>39</b>

# AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco primeramente a Dios por permitirnos llegar a este momento con mis seres queridos.

Agradezco especialmente a mi esposa Samantha García Mendoza que me motivo, ayudo y me apoyo para seguir superándome en la vida y lograr nuestros objetivos. A mis hijas Fatima y Lizbeth por estar a mi lado en todo momento y que despues de un dia dificil me recibian con abrazos y besos.

Tambien agradezco infinitamente a mis padres, Pablo Galván Alvarado y Martha Alicia Rodríguez Salazar, por el apoyo incondicional que me brindaron en esta camino.

A mis hermanos Diego y Pablo por brindarme siempre apoyo desde mis primeros dias de estudio y a seguir adelante, junto con mis sobrinos Angie, Andrea y Diego.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada en mi paso por la maestría y a la Universidad Autónoma de Nuevo León en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Gracias a todos mis maestros de la Maestría por todo el conocimiento transmitido, en especial a mi asesor de Tesis el Dr. Fernando Lopez Irarragorri , por su paciencia, tiempo, apoyo y también por tantos regaños y llamadas de atención que me hicieron reflexionar y hacer un mejor trabajo de mi tesis.

A mis revisores la Dra. Yasmín A. Ríos Solís por su aprendizaje, apoyo y paciencia y al Dr. Igor Litvinchev Semionovich por sus consejos y aprendizaje. A ustedes Doctores muchas gracias por formar parte de este comité de Tesis.

A mis compañeros de generacion que siempre juntos salimos adelante. A mis amigos de licenciatura que pasaron a ser de Maestria y futuramente de Doctorado muchas gracias.

Por ultimo quiero agradecer a la empresa Aleph5 que fue uno de mis motivos para entrar a esta maestria, ya que con su experiencia en proyectos y una gran cantidad de compañeros crecí mucho como persona y estudiante.



# RESUMEN

---

Lic. Fernando Galván Rodríguez .

Candidato para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas

.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: “HÍPERHEURÍSTICO BASADO EN BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA  
PARA LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE CARTERA DE PROYECTOS”.

Número de páginas: 46.

**OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO:** En la actualidad existen diversos problemas de “Toma de Decisión”, uno de los más importantes tanto por su estructura y su impacto inmediato para las instituciones públicas y privadas es el “Problema de Cartera de Proyectos”. Dicho problema consiste en seleccionar los proyectos que serán apoyados o a los que se le seleccionaran recursos bajo preferencias y restricciones que el “Tomador de Decisiones” quien es el que seleccionara la decisión de gran impacto.

Como ayuda para la solución de este “Problema de Cartera de Proyectos” se desarrollara un algoritmo de selección llamado “Hiper-heurísticos” el cual es un método que “inteligentemente” controla la elección de heurísticas de bajo nivel que deberá de aplicar en cada punto de decisión.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: El algoritmo de solución propuesto ayuda de manera rápida y eficiente al apoyo de la decisión y los resultados obtenidos para el problema de selección de carteras de proyectos son las principales aportaciones. En resumen, hemos observado comprobando el desempeño de nuestra Hiper-heurística propuesta respecto a la obtención de resultados en las distintas experimentaciones y trabajos anteriores. Comparando nuestro resultado contra otros ha sido posible validar y mostrar la eficiencia en instancias de gran escala. De acuerdo a estas evidencias se concluye que lo propuesto constituye una herramienta útil de solución al problema sujeto a estudio.

Firma del asesor: \_\_\_\_\_

Dr. Fernando Lopez Irarragorri

## CAPÍTULO 1

# INTRODUCCIÓN

---

La toma de decisiones existe desde el origen del ser humano como por ejemplo, donde vivir, que comer que carrera estudiar, en donde invertir nuestro dinero, hasta que camino tomar para cruzar el parque de la colonia. Todo nos lleva a tomar una decisión, incluso en el momento de elegir nuestros alimentos si se compran pechugas de pollo, carne de res, chuletas de cerdo o atún a la hora de elegir en el supermercado la despensa de la semana, una decisión tan básica que hacemos casi a diario que puede complicarse si le agregamos a esa situación que estamos una dieta baja en grasa, habría que tomar la decisión basándonos en mas factores como las calorías, la cantidad y lo permitido en las dietas.

Todos esos factores y condiciones hacen que una decisión casi automática que tenemos cambie a tal grado que nos obliga a tener varias soluciones para tomar una decisión de todas las posibles variantes.

Cambiando de ambiente, pero no de situación, si estamos en una empresa que se dedica a invertir grandes cantidades de dinero a microempresas o diferentes proyectos ya sea en una misma área o diferente (salud, publica, privada, entre otros), también hay que verificar todas las opciones posibles a invertir ya que al elegir proyectos con mucho beneficio económico puede ser muy caro y riesgo y le quitaría dinero a invertir a otros proyectos medianos que son mas rentables. Aquí ya parten

mas opciones como si queremos el máximo total de proyectos elegidos, o el máximo beneficio[11] o incluso ambas opciones.

Todo es nos lleva a una “*Toma de Decisión*”, y nos dice la Dra. Hilda[18] “*es una actividad cotidiana... en todos estos casos, el objetivo es valorar las condiciones, para tomar la decisión más acertada*” y nos plantea cualquier tipo de situación que nos propone mas de 2 opciones nos hace ser un “*Tomador de Decisiones*” y nos queda decidir si la aceptamos o no.

La “*Toma de Decisión*” es uno problemas más importantes tanto por su estructura y su gran impacto inmediato para las instituciones públicas y privadas, ya que de una u otra forma tienen que invertir ya sea dinero o personal en proyectos y actividades y lo deben de decidir para tener una ventaja y así cumplir con su objetivo principal ( o objetivos principales). Esto denomina “*Problema de Cartera de Proyectos*”que consiste en seleccionar los proyectos en los cuales se invertirá una cierta cantidad de dinero,cada proyecto tiene sus actividades y tanto como todo el proyecto como sus actividades tienen ciertas preferencias, costo y restricciones[2].

En base a lo mencionado anteriormente, hay diferentes caminos (algoritmos) de resolver el problema y dar el planteamiento de la decisiones en base al resultado, cabe destacar que la solución que se encuentre es la mejor del algoritmo seleccionado pero es el “*Tomador de Decisiones*” quien decide si lo implementa o no.

En este trabajo se propone un algoritmo para resolver el “*Problema de Cartera de Proyectos*” llamado Híperheurísticos, es básicamente un método usa inteligente muchos heurísticos para el proceso de resolución de un problema[30].Un heurístico es un algoritmo que encuentra una solución al problema sin garantizar que sea la mejor, de una manera sencilla y rápida.

Este concepto nace formalmente en el grupo de investigación ASAP en la Universidad de Nottingham a mediados del año 2000. El término híper-heurística, sin embargo, tuvo sus primeros usos a mediados de los 60’ por Fisher y Thompson (1961, 1963) y Crowson(1963) enfrentando el problema de Job Shop Scheduling (elección

de heurísticas en base a probabilidades).

El algoritmo “*Hiperheurístico*” propuesto trabaja sobre la elección de heurísticas básicas basadas en *Búsqueda Local Iterativa* que ira cambiando en forma sistemática la vecindad al momento de realizar la búsqueda de nuevas soluciones, si se encuentra una mejor, se re-emplaza la solución actual y se empieza otra vez con el primer esquema de vecindad.

## 1.1 OBJETIVOS

El objetivo es desarrollar un algoritmo Híperheurístico, para resolver un problema de cartera de proyectos.

Objetivos Específicos:

1. Diseñar un Híperheurístico basado en heurísticas de bajo nivel (básicas) de Búsqueda Local Iterativa con el objetivo de resolver el Problema de Cartera de Proyectos.
2. Desarrollar la implementación del algoritmo en un software libre para uso publico
3. Realizar un diseño de experimentos que permita el análisis de nuestro algoritmo asi como a las soluciones que se nos presenten.

## 1.2 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Se abordara en el capitulo 2 el Marco Teórico en el cual se sentaran las bases de los conceptos, definiciones y ejemplos de todo el contexto de este trabajo. Son los fundamentos teóricos y los resultados mas relevantes respecto al tema.

En el capítulo 3 se presentara nuestra propuesta, la cual se explicara a detalle, tanto la teoría como la implementación del algoritmo Híperheurístico.

Los resultados y la experimentación serán mostrado en el capitulo 4, donde contendrá la explicación de la experimentación , resultados y el análisis de estos.

En el ultimo capitulo contendrá la conclusión de todo este trabajo.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Se centra en los siguientes puntos:

1. Un algoritmo rápido y con buen resultado que permitirá resolver problemas complejos y grandes como lo es el problema de cartera de proyectos.
2. Lograr el crecimiento del área de las Híperheurísticos[10] con la finalidad de contar con herramientas computacionales más robustas y rápidas que permitan resolver el problema de Cartera de Proyectos Sociales de manera más exacta.
3. El impacto en las soluciones obtenidas en el problema de cartera de proyectosel cual contemplara el resultado del problema desglosado de casa proyecto a invertir dando paso a que el “*Tomador de Decisiones*” pueda analizar de manera rápida el resultado y así tener un mayos impacto en el beneficio económico, social o de cualquier otro tipo, según el problema.

## 1.4 HIPÓTESIS

El desarrollo de un Híperheurístico, la cual sera implementada con heurísticas básicas basadas en Búsqueda Local Iterativa, ya que existen muchas Híperheurísticos, pero todas ellas llevan algoritmos complejos en su elección de heurísticas, la idea

es hacer lo complicado, simple. Para ello se abordara la solución del problema de cartera de proyectos, el cual también se busca mejorar el desglose de solución de otros algoritmos en la literatura.

## 1.5 CONTRIBUCIÓN ESPERADA

Las contribuciones esperadas con este trabajo son las siguientes:

1. Proponer y diseñar un algoritmo Híperheurístico, el cual satisfaga los resultados esperados del problema a resolver.
2. Una metodología de apoyo a la decisión para el problema de selección de carteras.

## 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

Se mostraran las limitaciones de este trabajo así como los alcances que pueda tener:

1. El modelo matemático del problema de cartera de proyectos, es el propuesto en la tesis[2].

## 1.7 CONCLUSIONES

Es este capítulo se ha planteado la hipótesis, justificación y diversos conceptos que nos dan una primer impresión de todo lo que abarcara este trabajo.

## CAPÍTULO 2

# MARCO CONCEPTUAL

---

## 2.1 INTRODUCCIÓN

En este Capitulo se expondrán conceptos básicos así como bases teóricas, las cuales sirven de contextualizar para este trabajo. Se explicarán temas como problema de Optimización, Híperheurístico, modelado matemático, Búsqueda Local Iterativa, problema de cartera de proyectos, heurísticas y demás conceptos.

## 2.2 PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

El objetivo fundamental es la obtención de un valor máximo o mínimo de una determinada variable, teniendo en cuenta las restricciones del caso; la obtención de una estrategia o conjunto de pasos que constituyen la mejor elección para obtener determinado fin.[22]

Ejemplo, en la mayoría de los problemas propuestos en la literatura e incluso en la vida tienen solución, el camino del trabajo a la casa con menor tiempo, el acomodar muebles y cajas en el camión de mudanzas para poder hacer el mínimo de viajes, comprar objetos y hay problemas que pueden tener varias soluciones siendo



unas mejores que otras, por ejemplo si llegamos a la tienda a comprar frituras y hay 5 tipos con costos \$5, \$8, \$9, \$12, \$7, hay varios problemas 1) comprar el mayor numero de frituras 2) Gastar lo menos posible 3) llevarnos la fritura favorita... así primero elegimos nuestro objetivo, después hay que ver nuestras variables, una seria la cantidad de dinero que tenemos, supongamos \$15, en ese caso no podemos llevarnos todas las frituras, otra variable podría ser el no querer ingerir picante, ahí descartaríamos las frituras con Chile, a este tipo de condiciones se les llama variables de restricción las cuales nos ponen condiciones inquebrantables para llegar a nuestro objetivo. Dejándonos con diferente tipos de soluciones, todas ellas nos darán como resultado comprar frituras, pero unas con mayor dinero gasto, otras con mayor cantidad de frituras, etc.

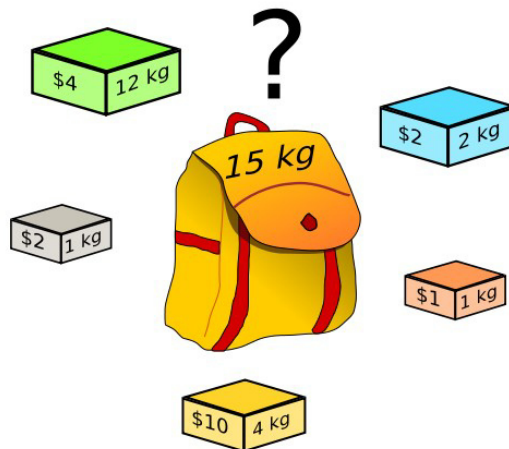


Figura 2.1: Ejemplo de un Problema de Optimización

En la figura 2.1 podemos ver el ejemplo clasico de un problema de optimización llamado "Problema de la Mochila"[6] el cual consiste el llenar la mochila de los objetos sin exceder el peso de los 15 KG cada objeto que introducen a la mochila te genera ganancias \$.

## 2.3 SOLUCIÓN DE PROBLEMA

Resolver un problema de optimización es encontrar la mejor solución posible a un problema formulado en lenguaje matemático, donde el criterio que evalúa la calidad de una solución es cuantitativo, generalmente asociado a un costo y denominado función objetivo.[31]

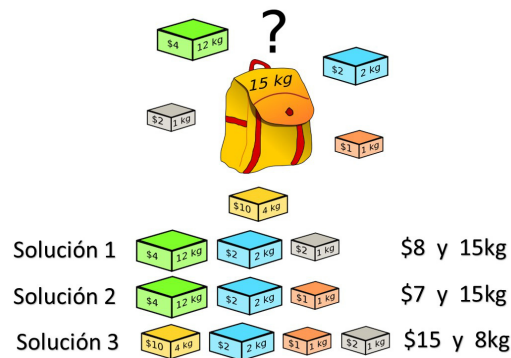


Figura 2.2: 3 tipos de soluciones del problema de la figura 2.1

Nuestra función objetivo puede ser generar la mayor cantidad de ingresos, obtener el mayor numero de artículos, reducir la cantidad de merma de cierta producción, o cualquier meta a querer lograr, todo esto en base a las condiciones de nuestro problema.

En la figura 2.2 podemos observar 3 soluciones del problema ejemplo de la sección 2.2, cabe destacar aunque todas estén correctas , la solución 3 nos genera una mayor ganancia a pesar de no usar todo el peso de la mochila.

La mejor solución[3] que se puede obtener del problema se le denomina **Optimo Global** quiere decir que ya no hay una mejor solución para ese problema. Si obtenemos una solución buena pero que no es la mejor se le llama **Optimo Local**, lo cual indica que existe una mejor solución a la actual. En las siguientes secciones veremos por que es casi imposible encontrar un optimo global.

## 2.4 MODELO MATEMÁTICO

Un modelo matemático[28] describe teóricamente un objeto que existe fuera del campo de las Matemáticas. Se emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones.

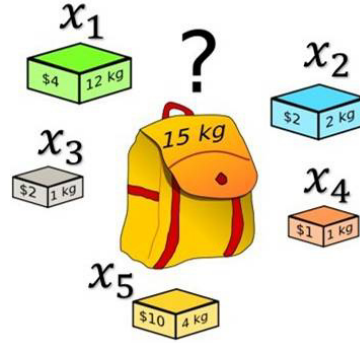


Figura 2.3: Nombramos las variables del problema de la figura 2.1

En la figura 2.3, podemos ver como fue la asignación de nombres de variables a los objetos. De tal modo que al decir el peso de  $x_1$  nos referimos al objeto con peso 12KG y ganancia \$4. Una vez ya con nombre los valores de  $x_n, n = 1, \dots, 5$  solo pueden tomar el valor de 1 si los introducimos a la mochila y 0 caso contrario.

El objetivo es maximizar la ganancia al introducir objetos en la mochila sin exceder el peso. Nombraremos[15] mas variables:  $W$  sera el peso máximo de la mochila,  $b_n$  es la ganancia del objeto  $n$  y  $w_n$  el peso en KG del objeto  $n$ .

$$MAX \left( \sum_{n=1}^5 b_n * x_n \right) \quad (2.1)$$

sujeto a:

$$\sum_{n=1}^5 w_n * x_n \leq W \quad (2.2)$$

con

$$x_n \in \{1, 0\}, \forall n = 1, \dots, 5 \quad (2.3)$$

Estas formulas las podemos desarrollar con los datos de nuestro ejemplo.

$$MAX ( 4x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 1x_4 + 10x_5 ) \quad (2.4)$$

sujeto a:

$$12x_1 + 2x_2 + 1x_3 + 1x_4 + 4x_5 \leq 15 \quad (2.5)$$

con

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \in \{1, 0\} \quad (2.6)$$

En este ejemplo tenemos 5 objetos lo cual nos genera 32 soluciones (La combinación entre los 5 objetos, no todas van a ser factibles, ver figura 2.4). El método exacto de solución busca en todas las soluciones posibles la mejor. En los diversos problemas que hay en el ámbito laboral e incluso en la vida cotidiana el número de objetos y condiciones o restricciones de estos mismos, son muy grandes[32] lo cual genera demasiado tiempo en llegar a una solución. Ejemplo si tenemos un problema con 20 objetos (solo 15 mas que el ejemplo anterior) nos genera una cantidad de 1,048,576 soluciones.

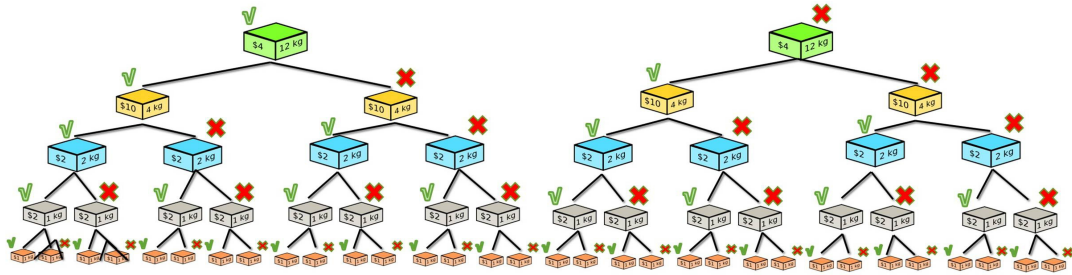


Figura 2.4: Total de soluciones posibles del problema ejemplo

Una solución  $n$  para nuestro ejemplo se puede escribir de la siguiente manera  $\sigma_n = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ , en la figura 2.2 tenemos 3 soluciones las cuales se van a expresar de la siguiente manera:

$$Solucion1 \rightarrow \sigma_1 = \{1, 1, 1, 0, 0\} \quad (2.7)$$

$$Solucion2 \rightarrow \sigma_2 = \{1, 1, 0, 1, 0\} \quad (2.8)$$

$$Solucion3 \rightarrow \sigma_3 = \{0, 1, 1, 1, 1\} \quad (2.9)$$

## 2.5 HEURÍSTICAS

Siguiendo la noción de el numero de soluciones que puede tener un problema (tanto por el tipo de problema, como las variables que involucra), surgen una clasificación de problemas, nos centraremos en los problemas difíciles de resolver” que científicamente son los “*NP-hard*”[23] que se basa en la complejidad algorítmica de obtener la mejor solución en un tiempo razonable.

Un método heurístico es un procedimiento para resolver un problema de optimización bien definido mediante una aproximación intuitiva (no evalúa todas las soluciones que tiene el problema), en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución sin garantizar que sea la optima global.[7]

Las heurísticas se pueden clasificar en:

1. **Constructivas:** Los métodos constructivos[26] son procedimientos iterativos que, en cada paso añaden un elemento hasta completar una solución. Usualmente son métodos deterministas y están basados en seleccionar, en cada iteración, el elemento con mejor evaluación.
  - a) **Heurísticos del Vecino más Próximo.**
  - b) **Heurísticos de Inserción**
  - c) **Heurísticos basados en Árboles Generadores.**
2. **Búsqueda Local:** El método[1] se basa en explorar el entorno de una solución y seleccionar una nueva solución en él . Desde la nueva solución se explora su entorno y se repite el proceso.
3. **Combinado:** El método combina a los 2 métodos anteriores para obtener mejores resultados[23].

4. **Métodos de Descomposición** El problema original se descompone en subproblemas[9] más sencillos de resolver, teniendo en cuenta, aunque sea de manera general, que ambos pertenecen al mismo problema.
5. **Métodos Inductivos** La idea de estos métodos es generalizar de versiones pequeñas o más sencillas al caso completo. Propiedades o técnicas identificadas en estos casos más fáciles de analizar pueden ser aplicadas al problema completo[23].

## 2.6 BÚSQUEDA LOCAL

DEFINICIÓN 2.1 *Cada solución  $\sigma$  tiene un conjunto de soluciones asociadas (vecinas)  $N(\sigma)$ , que se denomina **entorno** de  $\sigma$*

DEFINICIÓN 2.2 *Dada una solución  $\sigma$  cada  $\sigma'$  de su entorno  $N(\sigma)$  puede obtenerse directamente a partir de  $\sigma$  mediante una operación llamada **movimiento**.*

El método se basa en explorar el entorno de una solución y seleccionar una nueva solución[19] mejor en ese entorno (i.e. realizar el movimiento asociado). Desde la nueva solución se explora su entorno y se repite el proceso, hasta encontrar un optimo local. Necesita comenzar en una solución inicial, y si no se cambia el movimiento cada vez que apliquemos el método de Búsqueda local llegaremos a la misma solución optima local[20].

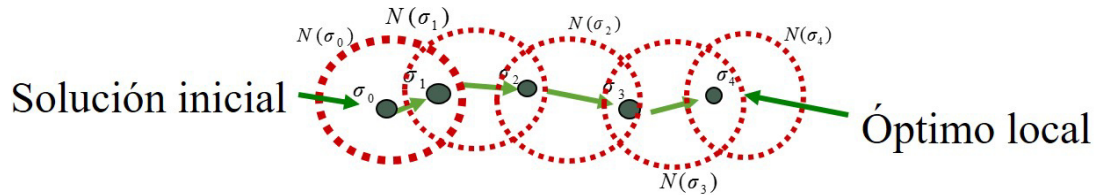


Figura 2.5: Gráfico que muestra visiblemente lo que hace una búsqueda local[25]

Los **movimientos** de la definición 2.2 pueden ser variados pero mencionaremos los mas usados:

1. Agregar un Elemento: a tu solución actual  $\sigma$  se le agregan objetos que no estén en la solución actual, siempre y cuando sigan cumpliendo con las condiciones del problema.
2. Intercambio: en tu solución actual  $\sigma$  se quitara una  $x_n$  que este en la solucion  $x_n = 1$  y le agrega 1 objeto que no estén en la solución actual, siempre y cuando sigan cumpliendo con las condiciones del problema.

Si nuestro problema es el de la figura 2.1 y nuestra solución inicial es  $\sigma_1 = \{0, 1, 1, 0, 0\}$  encontrada de manera completamente aleatoria, para  $\sigma_1$  el peso de la mochila es  $3KG$  y la ganancia es de \$4.

Una vecindad para  $\sigma_1$  con el movimiento de agregar un solo elemento es la siguiente [15]:

$$\sigma_1 = \{0, 1, 1, 0, 0\} \text{ Ganancia : \$4 Peso : } 3KG$$

$$\sigma_1^1 = \{1, 1, 1, 0, 0\} \text{ Ganancia : \$8 Peso : } 15KG$$

$$\sigma_1^2 = \{0, 1, 1, 1, 0\} \text{ Ganancia : \$5 Peso : } 4KG$$

$$\sigma_1^3 = \{0, 1, 1, 0, 1\} \text{ Ganancia : \$14 Peso : } 7KG$$

$$\Rightarrow N_1(\sigma_1) = \{\sigma_1^1, \sigma_1^2, \sigma_1^3\} \quad (2.10)$$

$\sigma_1^n$  es el vecino numero  $n$  de la solución 1 ( $\sigma_1$ ), con este movimiento se pueden obtener 3 soluciones vecinas y las tres cumplen con la restricción del peso de la Mochila  $\leq 15$ , por lo tanto la vecindad de  $\sigma_1$   $N_1(\sigma_1)$  en la ecuación 2.10.

En esta vecindad  $N_1(\sigma_1)$  nuestra solución con mayor ganancia es la  $\sigma_1^3$ , con una ganancia de \$14 la cual no es la solución optima global, pero si es una optima local (es la de mejor resultado en la vecindad).

Si queremos otra vecindad para la misma  $\sigma_1$  pero con un intercambio de objeto (quitamos una  $x_n$  de la solución para poner otra  $x_m$  con  $n \neq m$ ) es la siguiente :

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= \{0, 1, 1, 0, 0\} \text{ Ganancia : \$4 Peso : 3KG} \\
 \sigma_1^1 &= \{1, 0, 1, 0, 0\} \text{ Ganancia : \$6 Peso : 13KG} \\
 \sigma_1^2 &= \{0, 0, 1, 1, 0\} \text{ Ganancia : \$3 Peso : 2KG} \\
 \sigma_1^3 &= \{0, 0, 1, 0, 1\} \text{ Ganancia : \$12 Peso : 5KG} \\
 \sigma_1^4 &= \{1, 1, 0, 0, 0\} \text{ Ganancia : \$6 Peso : 14KG} \\
 \sigma_1^5 &= \{0, 1, 0, 1, 0\} \text{ Ganancia : \$3 Peso : 3KG} \\
 \sigma_1^6 &= \{0, 1, 0, 0, 1\} \text{ Ganancia : \$12 Peso : 12KG} \\
 \Rightarrow N_2(\sigma_1) &= \{\sigma_1^1, \sigma_1^2, \sigma_1^3, \sigma_1^4, \sigma_1^5, \sigma_1^6\}
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

Esta vecindad  $N_2(\sigma_1)$  de la ecuación 2.11 tiene a 6 soluciones como vecinas y la de mayor ganancia es la  $\sigma_3$  y  $\sigma_6$  en caso de empate tomamos aleatoria mente cualquiera de las 2 (las 2 son óptimos locales de la vecindad  $N_2(\sigma_1)$  ). El numero de vecinos entre  $N_2(\sigma_1)$  y  $N_1(\sigma_1)$  es el doble pero en magnitud de ganancia la  $N_1(\sigma_1)$  es la que tiene la solución con ganancia \$14.

Así podemos cambiar de movimiento por que sea mas conveniente o fácil, dependiendo de lo que queremos.

Una vez que ya tenemos una vecindad tomamos la mejor solución de la vecindad que supere a  $\sigma_1$  y la nombramos  $\sigma_2$  que sera nuestra mejor solución hasta el momento.

Si tomamos a  $N_1(\sigma_1)$  como nuestra vecindad, la nueva sigma sera  $\sigma_2 = \{0, 1, 1, 0, 1\}$  y sigue volver a sacar la vecindad pero de  $\sigma_2$  ( $N_1(\sigma_2)$ ) con el mismo movimiento de un solo elemento.

$$\sigma_2 = \{0, 1, 1, 0, 1\} \text{ Ganancia : \$14 Peso : 7KG}$$



$$\sigma_2^1 = \{1, 1, 1, 0, 1\} \text{ Ganancia : \$18 Peso : 19KG}$$

$$\sigma_2^2 = \{0, 1, 1, 1, 1\} \text{ Ganancia : \$15 Peso : 8KG}$$

$$\Rightarrow N_1(\sigma_2) = \{\sigma_2^1, \sigma_2^3\} \quad (2.12)$$

Nuestra  $(N_1(\sigma_2))$  de la ecuación ?? solo tuvo 2 vecinos ya que  $\sigma_2^2$  obtuvo un peso de 19KG lo cual excede nuestra mochila de peso máximo de 15KG y de las dos soluciones de  $(N_1(\sigma_2))$  la mejor es  $\sigma_2^3$  con una ganancia de \$15 mejoran en una unidad con respecto al paso anterior de la Vecindad 1.

Este ciclo de obtener al mejor vecino se repite hasta que ya no se encuentre una  $\sigma_n$  mejor en la vecindad  $N(\sigma_n)$ .

La búsqueda local es un método heurístico que por su composición cae en óptimos locales[20] (pozo de atracción) y ya no sale de esas soluciones, creando un gran problema para obtener una mejor solución

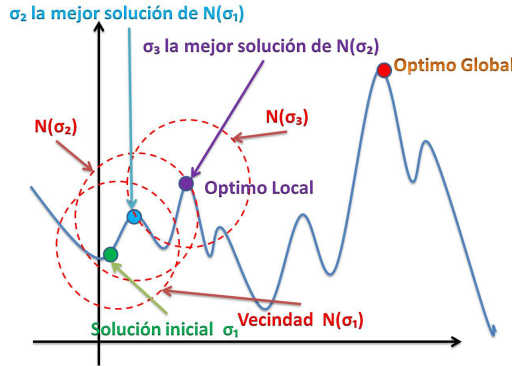


Figura 2.6: Gráfico donde se ve que la búsqueda local cae en un optimo local sin poder salir de ahí

## 2.7 METAHEURÍSTICOS

Son algoritmos aproximados de propósito general consistentes en procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda

Ventajas:

1. Algoritmos de propósito general
2. Gran éxito en la práctica
3. Fácilmente implementables
4. Fácilmente paralelizables

Inconvenientes:

1. Son algoritmos aproximados, no exactos
2. Son altamente no determinísticos (probabilísticos)
3. Se diseñan en base al problema específico no general y se necesita tener un buen dominio del problema.

Las Metaheurísticas se pueden clasificar como:

Heurísticas constructivas: Parten de una solución inicial vacía y van añadiéndole componentes hasta construir una solución. GRASP, Optimización Basada en Colonias de Hormigas

Heurísticas basadas en trayectorias: Parten de una solución inicial e iterativamente tratan de reemplazarla por otra solución de su vecindario con mejor calidad. Búsqueda Local, Enfriamiento Simulado, Búsqueda Tabú, BL Iterativa, ...

Heurísticas basadas en poblaciones: Evolucionan una población de soluciones iterativamente. Algoritmos Genéticos, Scatter Search,

## 2.8 BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA

El problema con búsqueda local es que queda atrapada en mínimos locales y volver a empezar desde varios puntos aleatorios no soluciona el problema. La idea principal de búsqueda local iterativa[27] es tratar de generar vecinos que no nos generen pozos de atracción vecinos (o al menos diferentes).

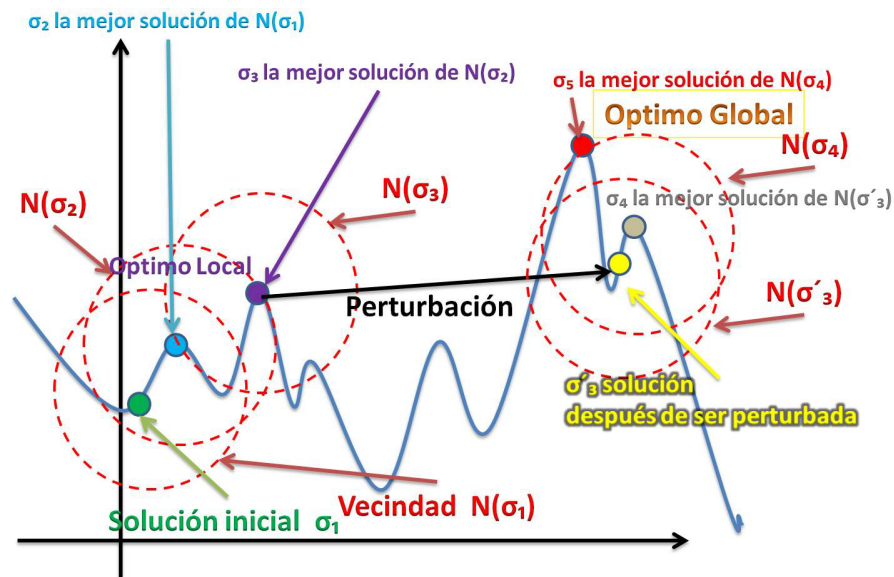


Figura 2.7: Gráfico donde se ve que la búsqueda local cae en un óptimo local sin poder salir de ahí

Para esto el algoritmo utiliza una acción mas en su algoritmo llamado **per-turbación**[29], que es hacerle cambios a nuestra solución para así poder salir a una nueva vecindad y explorar mucho mas soluciones.

1. Perturbaciones grandes nos genera una búsqueda muy amplia y no controlada lo cual es prácticamente buscar todas las soluciones posibles (random restart)[24] , mientras que perturbaciones pequeñas no nos sacan del pozo de atracción.
2. Normalmente búsqueda local interactiva no es reversible (no regresamos a los

mismos sub-espacios explorados antes), sin embargo, si se siguen perturbaciones determinísticas se pueden seguir ciclos cortos.

3. Por lo mismo a las perturbaciones se les deben incluir aspectos aleatorios o ser adaptativas para evitar ciclarse.
4. El criterio de aceptación se usa para establecer un balance entre explotación (intensificación) y exploración (diversificación).

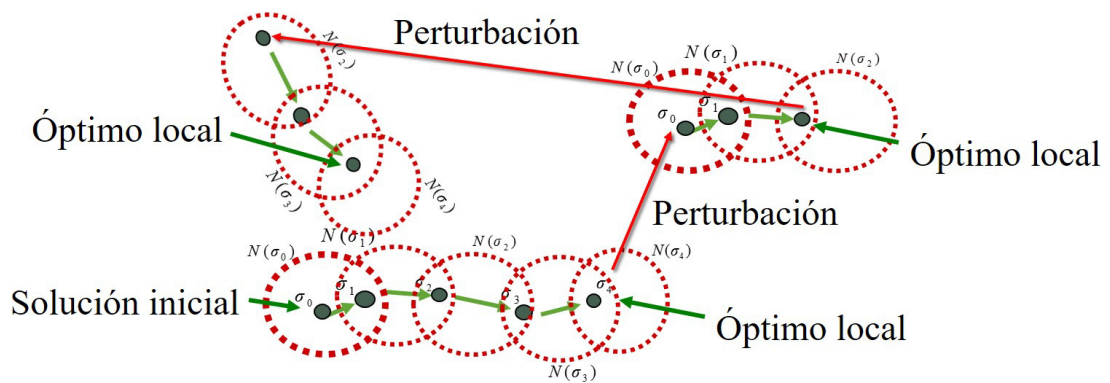


Figura 2.8: Podemos observar en el gráfico la función de la perturbación

## 2.9 OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

Hasta ahora se han explicado varios ejemplos y definiciones de problemas de Optimización con un solo objetivo, pero en el mundo real, usualmente son tratados considerando más de un objetivo [21] o criterio que están en conflicto, por lo que a diferencia de la optimización con un objetivo, no es posible obtener una solución óptima, más bien se busca encontrar un conjunto de soluciones que representan casos aceptables en base al sistema de preferencias particular del tomador de decisiones. Algunas dificultades se identifican cuando se incrementa el numero de criterios[13]:

Se degrada rápidamente la capacidad del algoritmo para encontrar la frontera de pareto. Se vuelve difícil o casi imposible para el tomador de decisiones establecer

juicios válidos para comparar soluciones con criterios en conflicto El cardinal de una porción representativa conocida de la frontera de pareto (ver definición más adelante) puede ser muy grande.

Formalmente, un problema de optimización multiobjetivo[12] puede definirse como

$$\begin{aligned} \text{Max o Min } (F = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]) \\ x \in X \end{aligned}$$

Donde  $X \subset \Re^n$  es una region factible y F el vector de funciones objetivo.[2]

## 2.10 FRENTE DE PARETO

La optimización multiobjetivo, como lo es el KP, no se restringe a la búsqueda de una única solución, sino de un conjunto de soluciones llamadas soluciones no-dominadas. Cada solución de este conjunto se dice que es un óptimo de Pareto y, al representarlas en el espacio de los valores de las funciones objetivos, conforman lo que se conoce como frente de Pareto. El obtener el frente de Pareto es una de las principales finalidades de los problemas de optimización multiobjetivo. En la Figura 2.9 se representa, con trazo grueso, el frente de Pareto de una función con 2 objetivos. El área T representa la imagen de dicha función objetivo. Se puede observar que no existe ningún punto perteneciente a T que mejore en el sentido de Pareto, a algún punto del Frente: eligiendo un punto de T de forma arbitraria, por ejemplo p3, se puede trazar la vertical hasta obtener el punto de corte con el Frente de Pareto, en este caso p1; dicho punto de corte siempre tendrá el mismo valor de f1 y un valor mejor de f2. También se puede observar que para 2 puntos cualesquiera del Frente de Pareto, nunca habrá uno que mejore de forma simultánea los dos objetivos respecto al otro punto. Tomando por ejemplo los puntos p1 y p2, se observa que para p1 mejora f2, pero a costa de empeorar f1 (se está considerando un caso de minimización). [16]

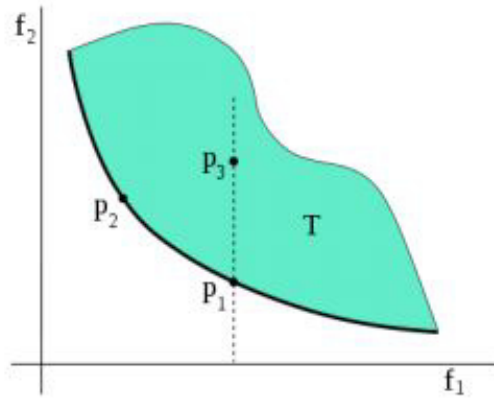


Figura 2.9: Frente de Pareto de una función con dos objetivos

## 2.11 HÍPERHEURÍSTICO

Método que “inteligentemente” controla la elección de la heurística (método) de bajo nivel que debiera ser aplicada en cada punto de decisión dependiendo de las características de las heurísticas y de la región del espacio de solución que se está explorando (estado del problema). Para ello, la hiperheurística debiera tener un mecanismo de aprendizaje.

El término hiperheurístico fue acuñado por primera vez en 1997 por Jörg Denzinger, Matthias Fuchs y Marc Fuchs[8]. Ellos usaron el término para describir un protocolo que selecciona y combina varios métodos de Inteligencia Artificial. Tiempo después en el año 2000, Cowling y Soubeiga usaron el término de hiper-heurístico[5]

Su objetivo es sino proveer una interfaz uniforme que permita resolver un amplio rango de problemas. Una “adecuada” elección de heurísticas de bajo nivel es necesaria. Deben ser diversas y hacer movimientos que le ayuden a la hiperheurística a tomar decisiones según su mecanismo de aprendizaje.

Diseñar metaheurísticas eficientes requiere incorporar conocimiento específico lo que implica un gran esfuerzo en tiempo y recursos.

Consecuencia: Difíciles de reusar o aplicar en otros problemas. Complicadas de en-

tender.

Estrategia: Optar por usar técnicas simples, baratas y razonablemente eficientes.

Algunas hiperheurísticas tienen el problema de contener demasiados parámetros, muchos de los cuales son sintonizados. Existen hiperheurísticas que asumen que existe mucha información que puede ser aprovechada para resolver problemas. Lo anterior limita su generalidad

No deben tener conocimiento del dominio. Deben proveer una interfaz genérica y común para cada heurística de bajo nivel. Capaces de tomar decisiones dinámicamente en base al estado actual de la búsqueda. Características Que puedan ser aplicadas a un amplio rango de problemas. Su fin no es vencer a técnicas construidas a la medida, sino demostrar que son competitivas y capaces de generar resultados de calidad. Que no sean sensibles a perturbaciones del problema y a distintos problemas.

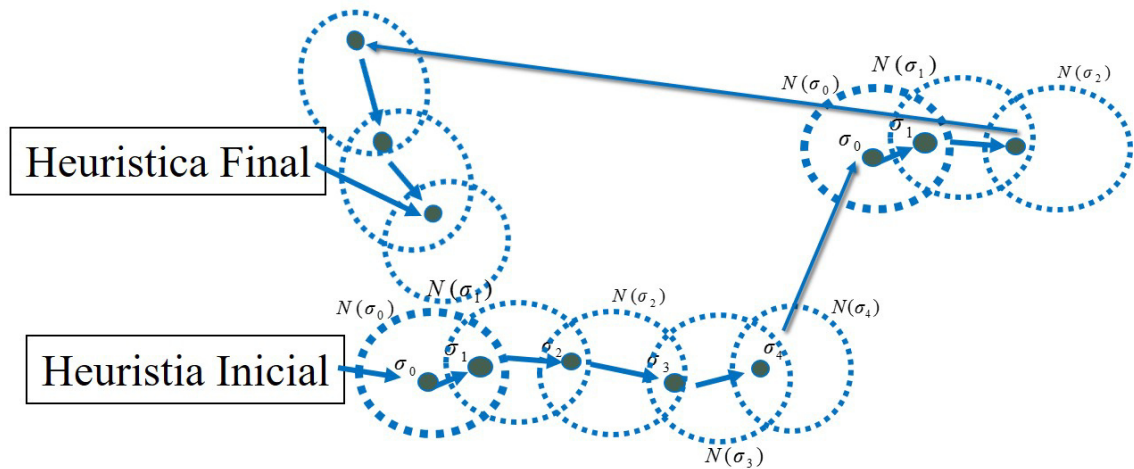


Figura 2.10: Podemos observar en el gráfico la función de la Hiperheurística[15]

Básicamente funciona igual que la Búsqueda Local Iterativa en la figura 2.8 la diferencia es que este se mueve en soluciones mejorando la ganancia de la función objetivo y la Hiperheurística se mueve entre heurísticas de bajo nivel para mejorar la exploración para encontrar una mejor solución, es decir selecciona la mejor heurística

desde el punto actual del procedimiento.

## 2.12 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cuando se habla de un problema de cartera de proyectoses hablar como proyecto de un conjunto de actividades que necesitan tiempo, dinero, recursos y demás para que se pueda llevar a cabo.

Cuando las actividades tienen lo que se necesita para realizarlos entonces el proyecto se podrá realizar.

Organizaciones, empresas, instituciones, centros de investigación y grupos corporativos son algunos de los agentes económicos que pueden tener un interés específico en apoyar el desarrollo de proyectos en distintas áreas

El tener varios proyectos a invertir recursos se le llama cartera de proyectos.

La correcta selección de proyectos para integrar una cartera de proyectos es uno de los problemas más importantes de decisión tanto para instituciones públicas como privadas. Los principales modelos económicos y matemáticos para el problema de cartera de proyectos suponen que se tiene un conjunto definido  $N$  de proyectos, cada proyecto perfectamente caracterizado con costos e ingresos, de los cuales la distribución en el tiempo es conocido.

Los diversos proyectos de la cartera pueden contener actividades en común que nos generan un beneficio o inclusive una penalización, si tuviéramos 2 proyectos que requieren la compra de un terreno para cada proyecto, se podría buscar en lugar de comprar dos terrenos por separado, uno solo, así ahorrando una considerable cantidad de dinero por compartir el mismo suelo.

Por ejemplo supongamos que una Institución educativa privada tiene varios proyectos en puerta.



Laboratorio Computación	Laboratorio Matemáticas	Laboratorio Multimedia	Laboratorio Actuarial	Laboratorio Seguridad	Edificio de Deportivo	Actualización de Aulas Inteligentes
Total \$575,000	Total \$395,000	Total \$895,000	Total \$405,000	Total \$650,000	Total \$1,500,000	Total \$998,500
Construir Aula \$150,000	Construir Aula \$95,000	Construir Aula \$190,000	Construir Aula \$102,000	Construir Aula \$150,000	Construir Edificio \$1,050,000	Comprar Eq.Int. \$698,000
Equipo de Computo \$250,000	Equipo de Computo \$200,000	Equipo de Computo \$450,000	Equipo de Computo \$200,000	Equipo de Computo \$350,000	Equipo de GYM y Cancha. \$450,000	Comprar Cableado \$250,500
Software/Licencias \$150,000	Software/Licencias \$50,000	Software/Licencias \$255,000	Software/Licencias \$32,000	Software/Licencias \$150,000		Capacitación por Expertos \$50,000
Otros Gastos... \$25,000	Otros Gastos... \$50,000		Otros Gastos... \$70,000			

Tabla 2.1: Tabla de Proyectos con desglose de actividades

La cantidad a invertir por la Institución es de \$2,900,000, y exactamente igual que en el ejemplo de la mochila, tendremos que nombrar a cada proyecto y actividad.

$X_n$  sera el proyecto  $n$

$C_n$  es el costo total del proyecto  $n$

$y_n^m$  es la etapa o subproyecto  $m$  del proyecto  $n$

$a_n^m$  es el costo la actividad  $m$  del proyecto  $n$

$n \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$   $m \in \{1, 2, 3, 4\}$

Proyecto 1:

$$X_1 = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto 1} \\ 1 & \text{si se se va a invertir en el Proyecto 1} \end{cases}$$

$$C_1 = 575,000$$

$$y_1^1 = \text{Construcción del aula}$$

$$a_1^1 = 150,000$$

$$y_1^2 = \text{Equipo de Computo}$$

$$a_1^2 = 250,000$$

$y_1^3$  = Software y Licencias

$$a_1^3 = 150,000$$

$y_1^4$  = Otros Gastos...

$$a_1^4 = 25,000$$

Proyecto 2:

$$X_2 = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto 2} \\ 1 & \text{si se se va a invertir en el Proyecto 2} \end{cases}$$

$$C_2 = 395,000$$

$y_2^1$  = Construcción del aula

$$a_2^1 = 95,000$$

$y_2^2$  = Equipo de Computo

$$a_2^2 = 200,000$$

$y_2^3$  = Software y Licencias

$$a_2^3 = 50,000$$

$y_2^4$  = Otros Gastos...

$$a_2^4 = 50,000$$

Proyecto 3:

$$X_3 = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto 3} \\ 1 & \text{si se se va a invertir en el Proyecto 3} \end{cases}$$

$$C_3 = 895,000$$

$y_3^1$  = Construcción del aula

$$a_3^1 = 190,000$$

$y_3^2$  = Equipo de Computo

$$a_3^2 = 450,000$$

$y_3^3$  = Software y Licencias

$$a_3^3 = 255,000$$

Proyecto 4:

$$C_4 = 405,000$$

$y_4^1$  = Construcción del aula

$$a_4^1 = 102,000$$

$y_4^2$  = Equipo de Computo

$$a_4^2 = a_2^2 = 200,000$$

$y_4^3$  = Software y Licencias

$$a_4^3 = 33,000$$

$y_4^4$  = Otros Gastos...

$$a_4^4 = 70,000$$

$$X_4 = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto 4} \\ 1 & \text{si se se va a invertir en el Proyecto 4} \end{cases}$$

Proyecto 5:

$$X_5 = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto 5} \\ 1 & \text{si se se va a invertir en el Proyecto 5} \end{cases}$$

$$C_5 = 650,000$$

$y_5^1$  = Construcción del aula

$$a_5^1 = 150,000$$

$y_5^2$  = Equipo de Computo

$$a_5^2 = 350,000$$

$y_5^3$  = Software y Licencias

$$a_5^3 = a_1^3 = 150,000$$

Proyecto 6:

$$X_6 = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto 6} \\ 1 & \text{si se se va a invertir en el Proyecto 6} \end{cases}$$

$$C_6 = 1,500,000$$

$y_6^1$  = Construcción del Edificio

$$a_6^1 = 1,050,000$$

$y_6^2$  = Equipo de GYM y Cancha

$$a_6^2 = 450,000$$

Proyecto 7:

$$X_7 = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto 7} \\ 1 & \text{si se se va a invertir en el Proyecto 7} \end{cases}$$

$$C_7 = 998,500$$

$y_7^1$  = Comprar Equipo Int.

$$a_7^1 = 698,000$$

$y_7^2$  = Comprar Cableado

$$a_7^2 = 250,500$$

$y_7^3$  = Capacitación de Exp.

$$a_7^3 = 50,000$$

Todas estas variables las vamos usar para ver el modelo matemático del problema de selección de proyectos

La suma del costo todos los proyectos en los que podemos invertir no puede ser mas de lo estimado:

$$\sum_{i=1}^7 C_i * X_i \leq 2,900,000$$

$$X_i = \begin{cases} 0 & \text{si no se invierte en el Proyecto } i \\ 1 & \text{si se va a invertir en el Proyecto } i \end{cases} \quad \forall i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$$

Cada proyecto tiene  $m$  fases o etapas que tienen un costo cada una y que no puede ser mayor al presupuesto total de proyecto:

$$\sum_{n=1}^m a_i^n * y_i^n \leq C_i \quad \forall i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$$

Con esto estamos formalizando el problema de selección de cartera de proyectos pues la idea básica es seleccionar proyectos con sus diferentes inversiones y cada proyecto con sus propias fases, con su propio periodo de tiempo con cierto impacto en objetivos ya establecidos.

Lo que abordaremos en este trabajo el problema de selección de cartera de proyectos con beneficios o impacto de carácter social.

Las características de los proyectos sociales son[2]:

1. Muchas veces tienen repercusión económica indudable, pero que se manifiesta de modo indirecto, a largo plazo, y en forma muy difícil de cuantificar[4].
2. Generalmente, además de su potencial impacto económico sobre el bienestar de toda o parte de la sociedad, el proyecto se caracteriza por otros atributos in-

tangibles, que también son relevantes y que tomados integralmente determinan el beneficio esperado.

3. Son importantes las consideraciones de equidad (grado de repercusión y grupo social beneficiado).
4. La selección de cartera de proyectos sociales formalmente es una actividad periódica que consiste en seleccionar una cartera o conjunto de proyectos con beneficios o impactos sociales, que compiten por apoyo financiero, buscando reunir los objetivos fijados por una organización, sin exceder los recursos disponibles o violar restricciones establecidas [17].

En carteras de proyectos sociales, un criterio importante es el impacto social, y regularmente no se esperan ganancias más que las generadas por el mismo. En el proceso de selección, la organización es quién funge como agente económico destinando una cantidad específica de recursos para financiar proyectos sociales.

Para poder esclarecer los detalles del problema, se presentan sus características estructurales[2].

1. Existe un conjunto de propuestas de proyectos que compiten por financiamiento. Cada una de ellas es revisada por un grupo de evaluadores quienes les asignan un valor de impacto social.
2. Cada propuesta incluye un estimado de los recursos necesarios.
3. Del anterior, se sugiere por parte de los evaluadores un rango de recursos que pueden ser asignados a cada proyecto.
4. Cada uno de los proyectos pertenecen a un área específica, por ejemplo, su área de investigación.
5. Existe un presupuesto máximo disponible menor a lo solicitado por todas las propuestas.

6. Del presupuesto disponible se asigna una cantidad máxima y una cantidad mínima de recursos para cada área, según las políticas de la organización.
7. La cantidad solicitada por cada propuesta es desglosada en los recursos necesarios asociados a las actividades que lo componen. Estas cantidades regularmente son imprecisas por lo que es preferente al igual que en proyectos, establecer un rango que indica las cantidades mínima y máximo de recursos a asignar a cada actividad.
8. La decisión de financiación es tomada una única vez en un período de tiempo.
9. Todos los proyectos están planificados para iniciar y terminar en un mismo período de tiempo.
10. Cada una de las actividades que conforman un proyecto deben iniciar y terminar en el mismo período.
11. Se considera la existencia de interdependencias de proyectos o actividades, produciendo sinergias con efectos de beneficio, de incremento o decremento de recursos.
12. De acuerdo a algunas especificaciones de la organización, pueden existir relaciones entre proyectos y/o actividades de manera que se restringe de un grupo de ellos el número de los cuales se incluirán a la cartera, por ejemplo, varias versiones de proyectos, proyectos que no pueden estar activos simultáneamente, etc.

La selección de proyectos de una cartera de proyectos sociales necesita de un tratamiento especial por las siguientes razones [14]:

1. La calidad de los proyectos es generalmente descrita por múltiples criterios que frecuentemente son conflictivos.

- 
2. Frecuentemente, los requerimientos no son conocidos con exactitud. Muchos conceptos no tienen un soporte matemático por ser de naturaleza totalmente subjetiva.
  3. La heterogeneidad o diferencia entre los posibles proyectos de una misma cartera, dificulta compararlos.



## CAPÍTULO 3

# PROPUESTA DE SOLUCIÓN

---

El HiperHeuristico propuesto parte de un algoritmo de busqueda local iterativo basico, el cual se alimenta de 7 heurísticas básicas que encuentran una solución factible del problema, las cuales tienen como objetivo la exploracion y la explotacion de las soluciones. Se nombraron heurísticas Basicas (HB) y son las siguientes:

1. Cambio Aleatorio: Cambia un proyecto por otro de manera aleatoria.
2. Genera Aleatorio: Genera una nueva solución al azar.
3. Cambio Izquierda: Cambia un proyecto seleccionado al azar por el primer proyecto que haga factible la solución buscando los proyectos de izquierda a derecha.
4. Cambio Derecha: Cambia un proyecto seleccionado al azar por el primer proyecto que haga factible la solución empezando buscando de derecha a izquierda.
5. Cambio x Región: Saca al azar un proyecto de cada región y los sustituye por otro proyecto de la misma region.
6. Cambio x Área: Saca al azar un proyecto de cada área y los sustituye por otro proyecto de la misma área.
7. Cambio Opuesto: Selecciona cuatro proyectos al azar, si un proyecto esta en la cartera lo saca, en caso contrario lo mete en la cartera.

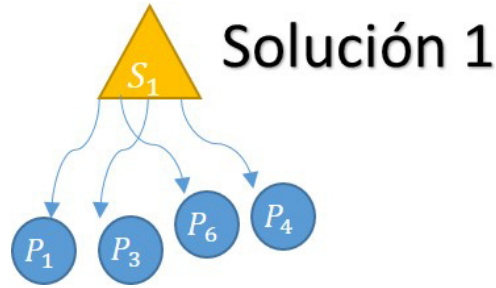


Figura 3.1: Objeto Solucion y sus proyectos activos

Si tomamos una solucion cualquiera de 7 proyectos, para una solucion 1 como por ejemplo en Figurasol1, obtendremos un vector de proyectos de solucion de la siguiente manera:

$$Solucion1 \rightarrow \sigma_1 = \{1, 0, 1, 1, 0, 1, 0\}$$

esto ya es una solucion factible del problema. Lo siguiente es aplicar una heurística basica, por ejemplo HB3:

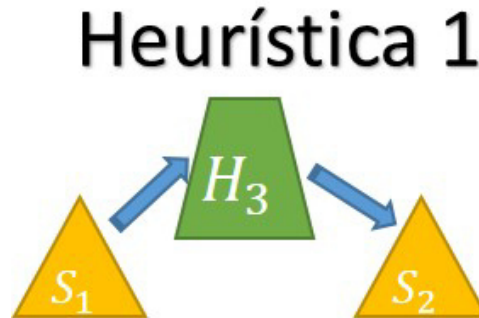


Figura 3.2: La solucion 2 se obtiene de procesar la solucion 1 por la HB3

Esta heurística basica lo que hace es seleccionar un proyecto activo de la solucion y cambiarlo por el primer proyecto que sea factible de izquierda a derecha. Esto ya esta programado para que al seleccionar un proyecto de forma aleatoria activo de la solucion, busque un proyecto a la izquierda que no este activo y realice el cambio.

Las heurísticas de Exploración (1,2) permiten generar nuevas soluciones diferentes a las actuales, permitiendo dar grandes saltos en el espacio de búsqueda de las soluciones y así explorar nuevas soluciones. Las heurísticas de Explotación (5,6,7)

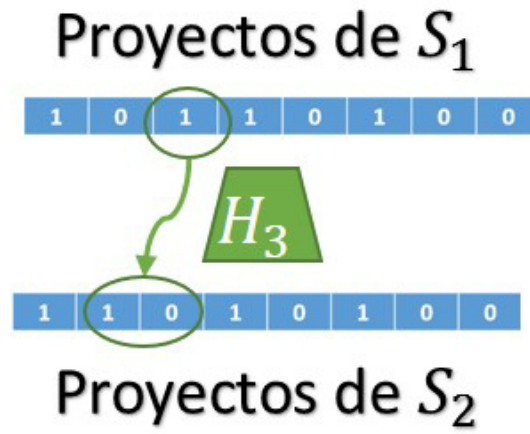


Figura 3.3: Se muestra el cambios de proyectos causado por la HB3

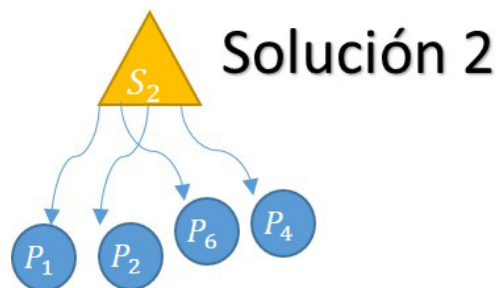


Figura 3.4: La solución 2 se obtiene de procesar la solución 1 por la HB3

permiten buscar soluciones vecinas a las soluciones actuales en búsqueda de mejores soluciones en el mismo vecindario. Sólo las heurísticas 3 y 4 tienen cierto equilibrio entre exploración y explotación. En la Tabla 4.4 se muestra la HBN y el tipo de movimiento que realiza en el espacio de búsqueda.

<b>HBN</b>	<b>Tipo movimiento</b>
Cambio Aleatorio	Exploración
Genera Aleatorio	Exploración
Cambio Izquierda	Exploración / Explotación
Cambio Derecha	Exploración / Explotación
Cambio x Región	Explotación
Cambio x Área	Explotación
Cambio Opuesto	Explotación

Tabla 3.1: Tabla de comparacion entre Heurísticas Basicas.

### 3.1 HÍPERHEURÍSTICO

Se hace una serie de soluciones y heurísticas básicas para crear una cadena de mejora.

En el proyecto se manejaron tamaños de 20, 10 y 7 HB por solución de Híper-heurístico. Esto es la cantidad de heurísticas básicas por las cuales pasa la solución antes de tener la solución final del HíperHeurístico.

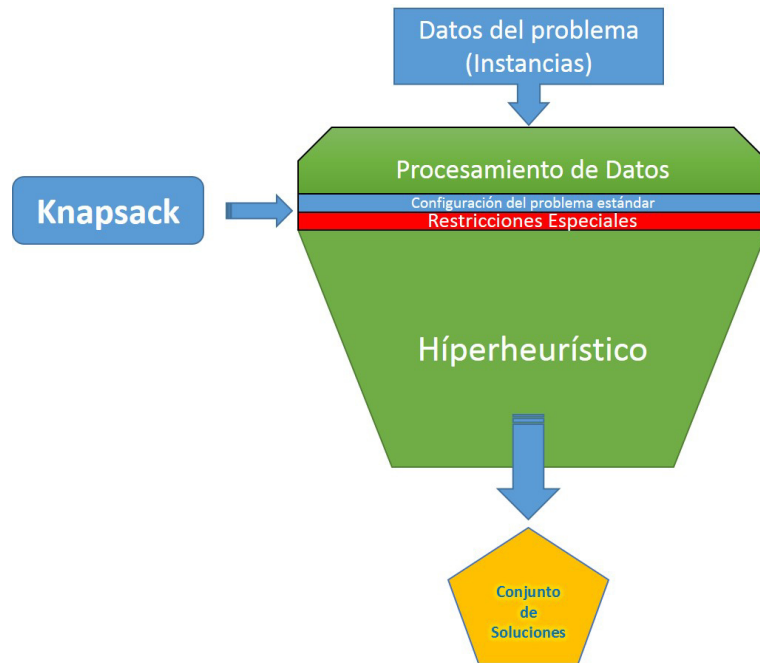


Figura 3.5: Diagrama de como funciona el Híperheurístico

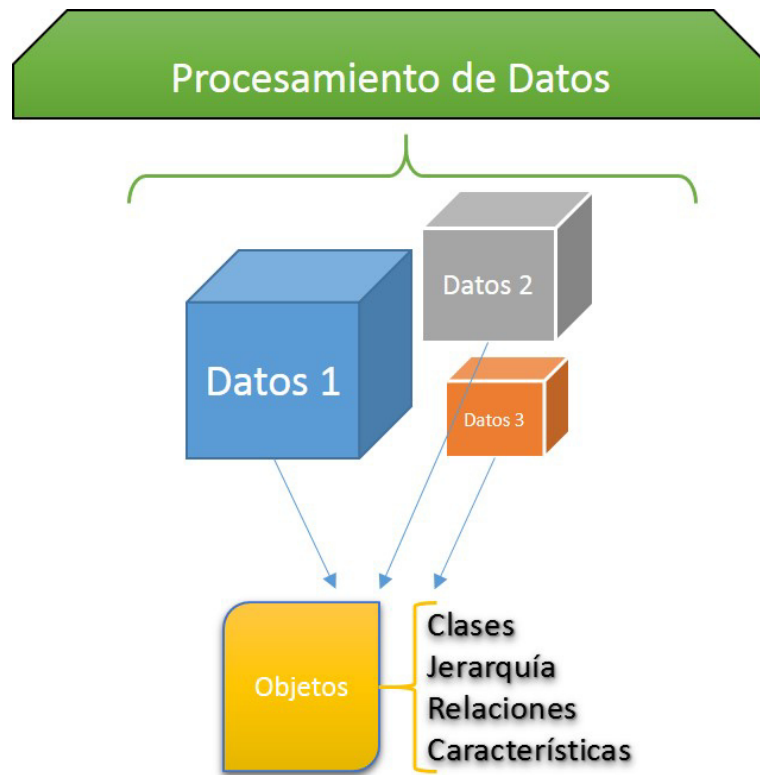


Figura 3.6: Datos de entrada al Híperheurístico

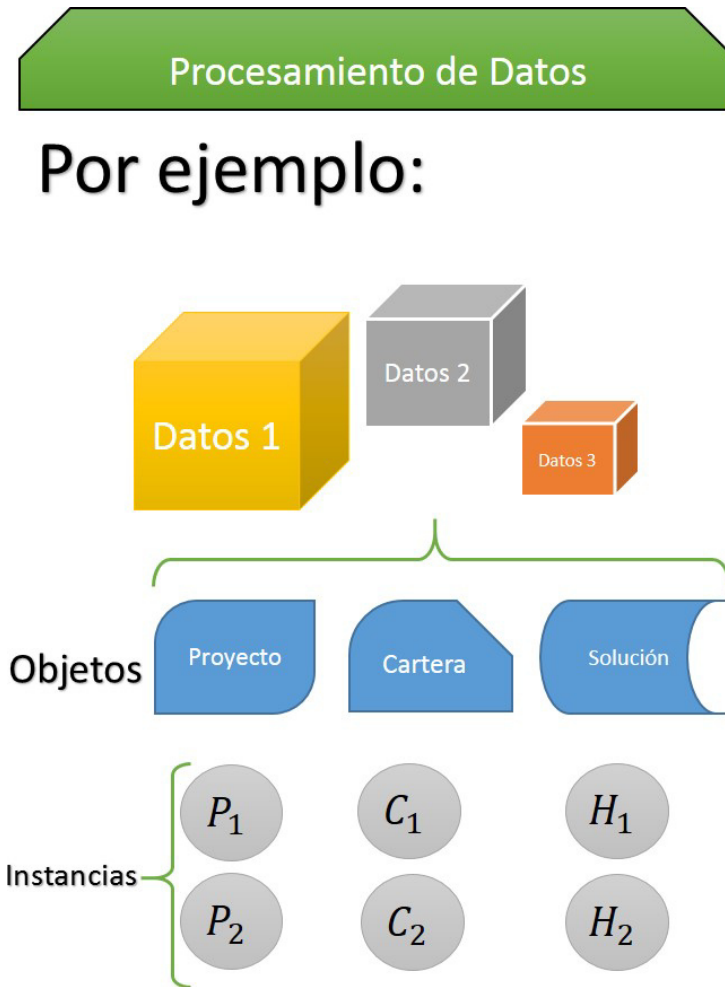


Figura 3.7: Ejemplo de datos de entrada al Híperheurístico

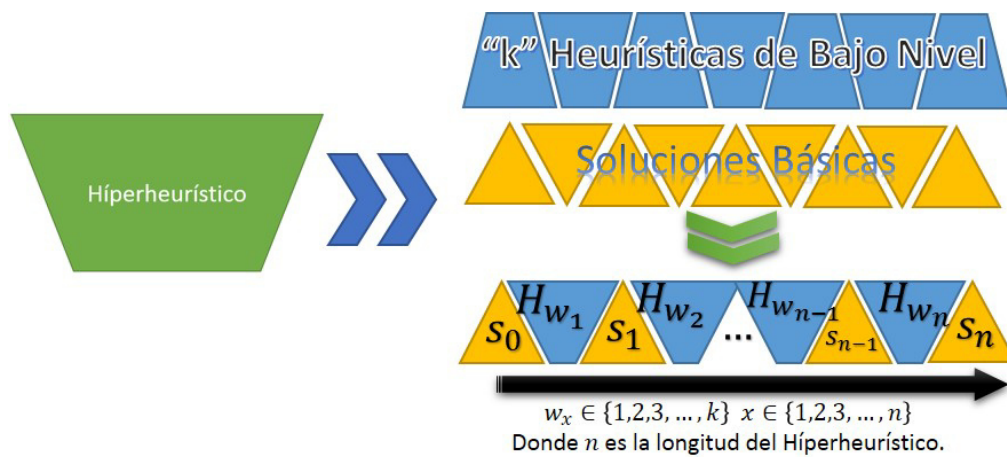


Figura 3.8: Proceso del Híperheurístico



Figura 3.9: Conjunto de soluciones resultantes del Híperheurístico

## CAPÍTULO 4

# RESULTADOS Y EXPERIMENTACIÓN

---



## CAPÍTULO 5

# CONCLUSIONES

---

Los Híperheurísticos son algoritmos heurísticos relativamente nuevos que constituyen un área abierta a la investigación. En este trabajo se ha observado que pueden ser la mejor opción para resolver problemas complejos tanto por la sencillez de su estructura general, la robustez en términos del porcentaje de aciertos o errores, así como por la rapidez de ejecución. Los resultados de los experimentos realizados con el híper-heurístico propuesto en este trabajo permiten concluir que en el problema de Cartera de Proyectos Sociales, el algoritmo propuesto supera a los mejores. El algoritmo cuenta con siete heurísticas de bajo nivel enfocadas a realizar intercambios en los proyectos que formaran las carteras. El genético es el heurístico de alto nivel que selecciona en cada iteración la mejor forma de aplicar las heurísticas de bajo nivel para llegar paulatinamente a las carteras que satisfagan mejor las preferencias del tomador de decisiones.

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

2.1. Ejemplo de un Problema de Optimización . . . . .	7
2.2. 3 tipos de soluciones del problema de la figura 2.1 . . . . .	8
2.3. Nombramos las variables del problema de la figura 2.1 . . . . .	9
2.4. Total de soluciones posibles del problema ejemplo . . . . .	10
2.5. Gráfico que muestra visiblemente lo que hace una búsqueda local[25] . . . . .	12
2.6. Gráfico donde se ve que la búsqueda local cae en un optimo local sin poder salir de ahí . . . . .	15
2.7. Gráfico donde se ve que la búsqueda local cae en un optimo local sin poder salir de ahí . . . . .	17
2.8. Podemos observar en el gráfico la función de la perturbación . . . . .	18
2.9. Frente de Pareto de una función con dos objetivos . . . . .	20
2.10. Podemos observar en el gráfico la función de la Hiperheurística[15] . . . . .	21
3.1. Objeto Solucion y sus proyectos activos . . . . .	32
3.2. La solucion 2 se obtiene de procesar la solucion 1 por la HB3 . . . . .	32
3.3. Se muestra el cambios de proyectos causado por la HB3 . . . . .	33

---

3.4. La solución 2 se obtiene de procesar la solución 1 por la HB3 . . . . .	33
3.5. Diagrama de como funciona el Híperheurístico . . . . .	35
3.6. Datos de entrada al Híperheurístico . . . . .	35
3.7. Ejemplo de datos de entrada al Híperheurístico . . . . .	36
3.8. Proceso del Híperheurístico . . . . .	36
3.9. Conjunto de soluciones resultantes del Híperheurístico . . . . .	37

# ÍNDICE DE TABLAS

---

2.1. Tabla de Proyectos con desglose de actividades . . . . .	23
3.1. Tabla de comparacion entre Heurísticas Básicas. . . . .	34

# BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] AHO, A. V., J. E. HOPCROFT, J. D. ULLMAN, A. V. VILLAZÓN y J. L. MORENO, *Estructuras de datos y algoritmos*, tomo 1, Addison-Wesley Iberoamericana, 1988.
- [2] ARRATIA MTZ., N. M., «Metodología de Apoyo a la Decisión en la Selección de Carteras de Proyectos con Beneficios o Impactos de Carácter Social», , 2013.
- [3] BRASSARD, G., P. BRATLEY y R. GARCIA-BERMEJO, *Fundamentos de algoritmia*, tomo 3, Prentice Hall ^ eMadrid Madrid, 1997.
- [4] COHEN, E. y R. FRANCO, *Evaluación de proyectos sociales*, Siglo XXI, 1992.
- [5] COWLING, P. y E. SOUBEIGA, «Neighborhood structures for personnel scheduling: a summit meeting scheduling problem», en *Proceedings of the 3rd International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, by EK Burke, W. Erben, pág. 277, 2000.
- [6] DAKE, *Knapsack Example*, Inkscape, <http://bit.ly/2mAaWo9>.
- [7] DÍAZ, A., F. GLOVER, H. M. GHAZIRI, J. GONZÁLEZ, M. LAGUNA, P. MOSCATO y F. T. TSENG, «Optimización heurística y redes neuronales», , 2000.
- [8] DENZINGER, J., M. FUCHS y M. FUCHS, *High performance ATP systems by combining several AI methods*, Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Informatik, 1996.

- 
- [9] DORTA, I., C. LEÓN, C. RODRÍGUEZ y A. ROJAS, *Resolución del problema mochila 0/1 usando esqueletos Divide-y-vencerás y Ramificación-y-acotación*, Editorial Universitaria, 2004.
- [10] DUARTE, P. J., A. y GALLEGU, «M. Metaheurísticas», .
- [11] EDUARDO FERNANDEZ GONZÁLEZ, E. L. C., «Aplicación de metaheurísticas multiobjetivo a la solución de problemas de cartera de proyectos públicos con una valoración multidimensional de su impacto», *Gestión y Política Pública*.
- [12] EHRGOTT, M., «Multicriteria Optimization, Lecture notes in economics and mathematical systems», *Springer*, 2005.
- [13] FERNANDEZ, E., E. LOPEZ, F. LOPEZ y C. A. C. COELLO, «Increasing selective pressure towards the best compromise in evolutionary multiobjective optimization: The extended NOSGA method», *Information Sciences*, 2011.
- [14] FERNANDEZ, E. y J. NAVARRO, «A genetic search for exploiting a fuzzy preference model of portfolio problems with public projects», *Annals of Operations Research*, **117**(1-4), págs. 191–213, 2002.
- [15] GALVÁN, F., "Problema de Selección de Cartera de Proyectos", 9no Congreso de Ciencia y Tecnología, <https://prezi.com/2bycaolqz2bz/congresofcfm/>, 2016.
- [16] GARCIA RDZ, R., «Hiper-heurístico para Resolver el Problema de Cartera de Proyectos Sociales», , 2012.
- [17] GHASEMZADEH, F. y N. P. ARCHER, «Project portfolio selection through decision support», *Decision support systems*, **29**(1), págs. 73–88, 2000.
- [18] GÓMEZ, H. M. R., «Toma de decisiones», , 2011.
- [19] HANSEN, P., N. MLADENOVIC y J. A. MORENO-PÉREZ, «Búsqueda de Entorno Variable.», *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, **7**(19), págs. 77–92, 2003.

- 
- [20] LENSTRA, J. K., *Local search in combinatorial optimization*, Princeton University Press, 2003.
- [21] LÓPEZ, J., «Optimización multi-objetivo», , 2013.
- [22] MALASPINA, U., «Intuición, rigor y resolución de problemas de optimización», *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, **10**(3), págs. 365–399, 2007.
- [23] MARTÍ, R., «Procedimientos metaheurísticos en optimización combinatoria», *Matemátiques, Universitat de València*, **1**(1), págs. 3–62, 2003.
- [24] MARTÍ, R. y J. MORENO, «Métodos multi-arranque», *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, **19**, págs. 48–49, 2003.
- [25] MORALES, J., «"Hiperheurísticos", IV Jornada de Optimización», , 2016.
- [26] PEARL, J., «Heuristics: intelligent search strategies for computer problem solving», , 1984.
- [27] RAMALHINHO-LOURENÇO, H., O. C. MARTIN, T. STÜTZLE *et al.*, «Iterated local search», *Informe técnico*, 2000.
- [28] ROSS, K. W. y D. H. TSANG, «The stochastic knapsack problem», *IEEE Transactions on communications*, **37**(7), págs. 740–747, 1989.
- [29] STUTZLE, T., «Iterated Local Search», .
- [30] SUCUPIRA, I. R., «Métodos heurísticos genéricos: metaheurísticas e hiperheurísticas», *USP: Sao Paulo*, 2004.
- [31] VÉLEZ, M. C. y J. A. MONTROYA, «Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones», *Revista EIA*, (8), págs. 99–115, 2007.

- 
- [32] WOEGINGER, G. J., «Exact algorithms for NP-hard problems: A survey», en *Combinatorial Optimization—Eureka, You Shrink!*, Springer, págs. 185–207, 2003.



# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

---

Lic. Fernando Galván Rodríguez

Candidato para obtener el grado de  
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

“HÍPERHEURÍSTICO BASADO EN BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA  
PARA LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE CARTERA DE  
PROYECTOS”

Nacido en Nuevo León, México, termino su Licenciatura en Matemáticas por parte de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas en el 2012, laboro en el área de Matemática Aplicada en la industria desde el 2010 hasta el 2015 con diversos proyectos de nivel nacional e internacional aplicando modelos matemáticos, simulaciones y software directo para los clientes. En el 2015 ingreso a estudiar la Maestría en Ciencias en Sistemas en PISIS, FIME, UANL, y desde Enero del 2016 es Catedrático Docente de la FCFM, UANL.